

文章编号:1004-7220(2011)01-0158-05

坡面步行中青年女性下肢关节角及肌肉激活度

唐 刚^{1,2}, 张希安², 季文婷², 海思穹², 王冬梅², 王成焘²

(1. 上海海事大学 物流工程学院, 上海 200135; 2. 上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要: 目的 通过定量分析关节角及主要肌肉激活度的变化来说明步行速度和路面坡度对下肢运动的影响。方法 首先按由慢到快选择了共5种步行速度,由低到高选择3种坡度,并利用运动捕捉系统对15各青年女性的步态进行测量,同时对影响下肢运动的8块主要肌肉的肌电信号进行了采集。然后通过计算分析获得她们在不同步行速度和路面坡度下髋、膝及踝关节矢状面的关节角度变化的均值,从测量数据中寻找出一个最接近这个均值曲线的研究对象。结果 计算获得了该研究对象不同步行速度和路面坡度下踝关节、膝关节及髋关节在一个步态周期内的矢状面关节角的变化曲线以及主要肌肉的激活度变化曲线。结论 每个步态周期内,关节角及肌肉激活度在5种不同速度下的变化很小;而在3种不同路面坡度下的变化仅趋势基本一致,峰值的差异却非常明显。

关键词: 步态分析; 肌电信号; 下肢关节; 路面坡度; 运动学

中图分类号: R 3 文献标志码: A

Joint angles and muscle activations in the lower limb of young women during slope walking

TANG Gang^{1,2}, ZHANG Xi-an², JI Wen-ting², HAI Si-qiong², WANG Dong-mei², WANG Cheng-tao² (1. Logistics Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China; 2. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: **Objective** To illustrate the influences of walking speed and road slope on lower limb motions by quantitative analysis on the changes of joint angles and muscle activation. **Method** Five walking speeds and three road slopes were selected from slow to fast according to the related measurement. The gaits of 15 young women were measured using the motion capture system and the EMG signals of 8 major muscles in lower limbs were collected simultaneously. The mean joint angles of hip, knee and ankle in sagittal plane at different speeds and different slopes were calculated. The subject whose data was closest to the mean value could be easily found. **Results** The joint angles of the subject's hip, knee and ankle in sagittal plane at different speeds and different slopes in a gait cycle were presented and the activation curves of the 8 major muscles during lower limb movements were obtained. **Conclusions** In each gait cycle, the curves of joint angles and muscle activations varied little with 5 different speeds, while curves for 3 different road slopes only showed similar tendencies but with different peaks.

Key words: Gait analysis; Electromyography (EMG); Lower limb joints; Road slope; Kinematics

不同的步行速度和路面坡度对下肢关节及肌肉将产生不同的影响^[1]。人体步行不但能加快新陈代谢,提高人体心肺功能,增强体质^[2],而且对体

形、步姿的训练,使人体外形及运动更加完善。如何确定合适的步行速度和路面坡度,需要通过定量分析下肢关节角及主要肌肉激活度的变化来进行研

收稿日期:2010-09-28; 修回日期:2010-12-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30810103908,30530230)。

通讯作者:王成焘,教授,博士研究生导师, Tel: (021)34206847; E-mail: trib@sjtu.edu.cn。

究。目前,国内外在分析步行速度和关节角之间的
问题上已经进行了很多研究^[3-6],但是同时涉及路面
坡度和肌肉激活程度因素的研究工作相对欠缺。

1 方法

在进行运动学参数测量中,假设人体是由很多
刚体构成的多自由度的机构,这样可以方便地建立
针对不同研究对象的统一的测量方法。依据国内学
者所给出的推荐使用的标准的人体各部位局部坐标
系定义方法^[7]对研究对象下肢运动坐标系进行定
义。定义关节局部坐标系首先需要定义在人体表面
容易提取的解剖学特征点。这些解剖学特征点将作
为测量时的虚拟标记点。由于运动过程中,在人体
表面解剖学特征点上直接标记坐标受皮肤运动的影
响比较大,为避免测量误差一般采用虚拟标记点的
测量方法^[8],即通过测量足、小腿、大腿及腰(见图
1)上实际标记点所标记的刚体(每个刚体由4个实
际标记点构成,其中任意3个实际标记点就可以确
定刚体坐标系)坐标来获得人体表面解剖学特征点
的运动坐标^[9]。

本文首先依据文献[10]及相关运动测量将步
行过程按速度由慢到快选择了1.1、1.2、1.3、1.4及
1.5 m/s共5种步行速度,路面坡度由低到高选择
了0°、16°和26°;然后利用运动捕捉系统对青年女
性样本(平均年龄23.67岁,平均身高161.93 cm,
平均体重50.60 kg)在跑步机上的步行进行测量。
实验中采用Optotrak Certus(NDI,加拿大)运动捕
捉系统,采样频率为50 Hz。为了控制步行速度,从
而获得更加准确和有效的测量数据,实验中研究对

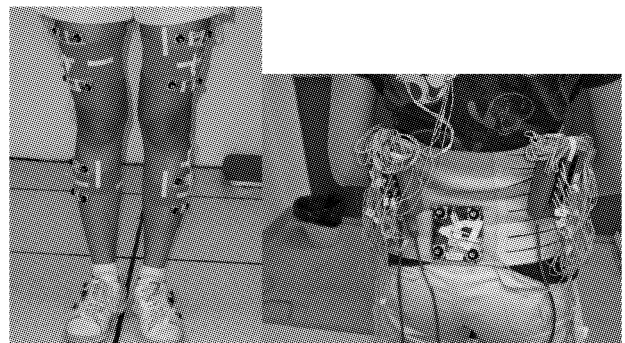


图1 下肢及腰部标记点所定义的刚体位置

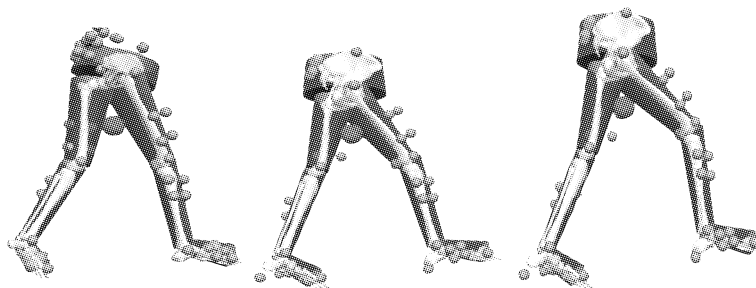
Fig.1 The position of rigid body defined by the markers in lower limb and waist

象在跑步机上(见图2(a))完成步行,同时还通过
运动捕捉系统采集多周期的步姿,以便从中选择比
较稳定的、完整的步态周期。运动测量完成后,将运
动捕捉系统采集的数据及研究对象的个性参数(身
高和体重)导入V3D软件(C-Motion,美国)中,构建
三维实体模型(见图2(b)),为3种不同坡度下的三
维模型),从而进行运动学分析。

考虑到运动测量时绷带等物品会对某些肌肉的
变形等产生影响,所以将运动参数测量与肌电信号
(electromyography, EMG)测量分开进行^[9]。但为了
与运动测量参数匹配,划分统一的运动周期,在进
行肌电信号测量时,同时测量足的运动参数,这样既
减少肌电信号的测量误差,还可以很好地划分运动
周期。实验中采用AMT-8肌电仪(Bortec,加拿大),
对影响研究对象下肢运动的8块主要肌肉(包括腓肠
肌外侧头、股内侧肌、股直肌、股外侧肌、股二头肌、
半膜半腱肌、腓肠肌内侧头和胫骨前肌)^[11]的肌电



(a)



(b)

图2 跑步机上步行测量(a)及三维实体模型(b)

Fig.2 Walking measurement on a treadmill (a) and three-dimensional model (b)

信号进行了采集,并从中选择一组比较稳定的、完整的步态数据。采样频率为1 kHz。

测量完成后,将肌电测量所采集的表面肌电信号处理并线性化,即先进行10 Hz的高通滤波,再进行全波整流,然后以3 Hz的频率低通滤波,最后用最大自主收缩(MVC)下的肌电信号峰值作线性化处理,计算得到的线性化值即近似等于肌肉激活度 $a(t)$,范围为0~1^[12]。所有滤波器选用二阶巴特沃斯双向滤波,这可以避免信号的时移。

2 分析

通过计算分析获得了研究对象在不同步行速度和路面坡度下髋、膝及踝关节矢状面的关节角度变化的均值,然后从测量数据中寻找出一个最接近这个均值曲线的研究对象(年龄24岁,身高160 cm,体重48 kg)。如图3所示,为该研究对象在步行速度分别为1.1、1.2、1.3、1.4及1.5 m/s以及路面坡度为0°、16°和26°的状态下,根据运动捕捉系统所采集的数据,计算所获得的髋、膝及踝关节在一个步态周期(以右脚脚跟着地为起止点)内矢状面上关节角度的变化曲线(实线、划线和点线分别表示路面坡度为0°、16°和26°;其中每根曲线均取各速度

下6个完整的步态周期,经归一化然后求解均值和方差处理获得),其中负值部分分别表示髋关节的伸展、膝关节的伸展和踝关节的背屈。从图中可以看出,人体不同步行速度和路面坡度下,髋、膝及踝关节在一个步态周期内矢状面上关节角度的变化趋势基本一致,其中髋关节和膝关节在运动周期临近50%时,均达到最小值,然后逐渐增大并在运动周期为75%左右时,达到最大值,随后开始减小;踝关节在运动周期25%时,达到最小值,然后逐渐增大并在运动周期75%时,达到最大值,随后开始减小。同时,髋、膝及踝关节在一个步态周期内矢状面上关节角度的变化范围并不是随人体步行速度的增大而单调增加。但是路面坡度对髋关节、膝关节和踝关节矢状面上关节角度均产生较大影响,在低速状态下(速度小于1.4 m/s)时,髋关节的屈曲角和伸展角均随路面坡度的增大而增大,而在高速状态下(速度大于1.3 m/s)时,髋关节的屈曲角随路面坡度的增大而增大,伸展角随路面坡度的增大而减小。膝关节的初始屈曲角随路面坡度的增大而明显增大,但是在步态周期50%~100%阶段,膝关节在矢状面的关节角度变化受路面坡度的影响不大。踝关节在步态周期0~50%阶段,背屈角度随路面坡度

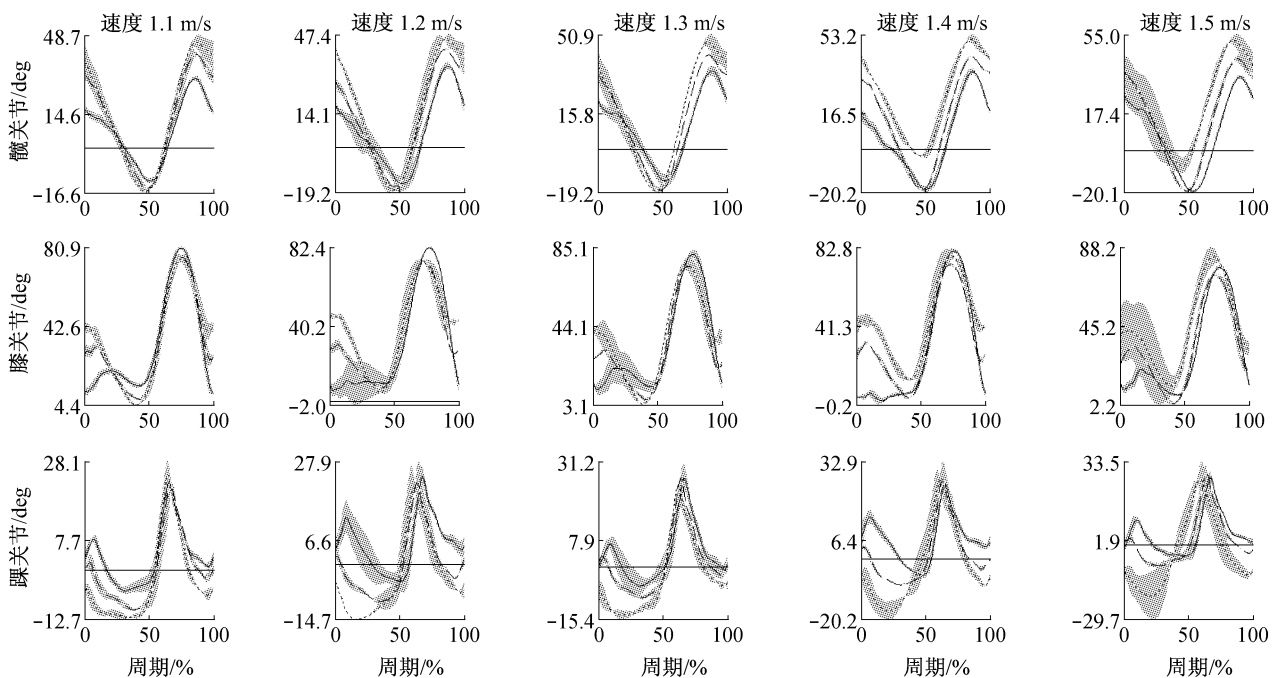


图3 不同速度和不同路面坡度下矢状面上髋、膝和踝关节角变化曲线

Fig. 3 Hip, knee and ankle joint angle in the sagittal plane at different speeds and different slopes

的增大而明显增大,但在步态周期 50% ~ 100% 阶段,踝关节在矢状面的关节角度变化受路面坡度的影响不大。

如图 4 所示,为所测量和计算的下肢步行过程中,起主要作用的 8 块肌肉的激活度在 5 种不同速度和 3 种不同路面坡度下每个步态周期内的变化曲

线(实线、划线和点线分别表示路面坡度为 0°、16° 和 26°;其中肌电信号值取各速度下 3 个完整步态周期运动下的平均值进行计算,每块肌肉的最大自主性收缩值单独测量,并取 3 次实验平均值)。从图中可以看出,这些肌肉的激活度在 5 种不同速度和 3 种不同路面坡度下每个步态周期内的变化趋势

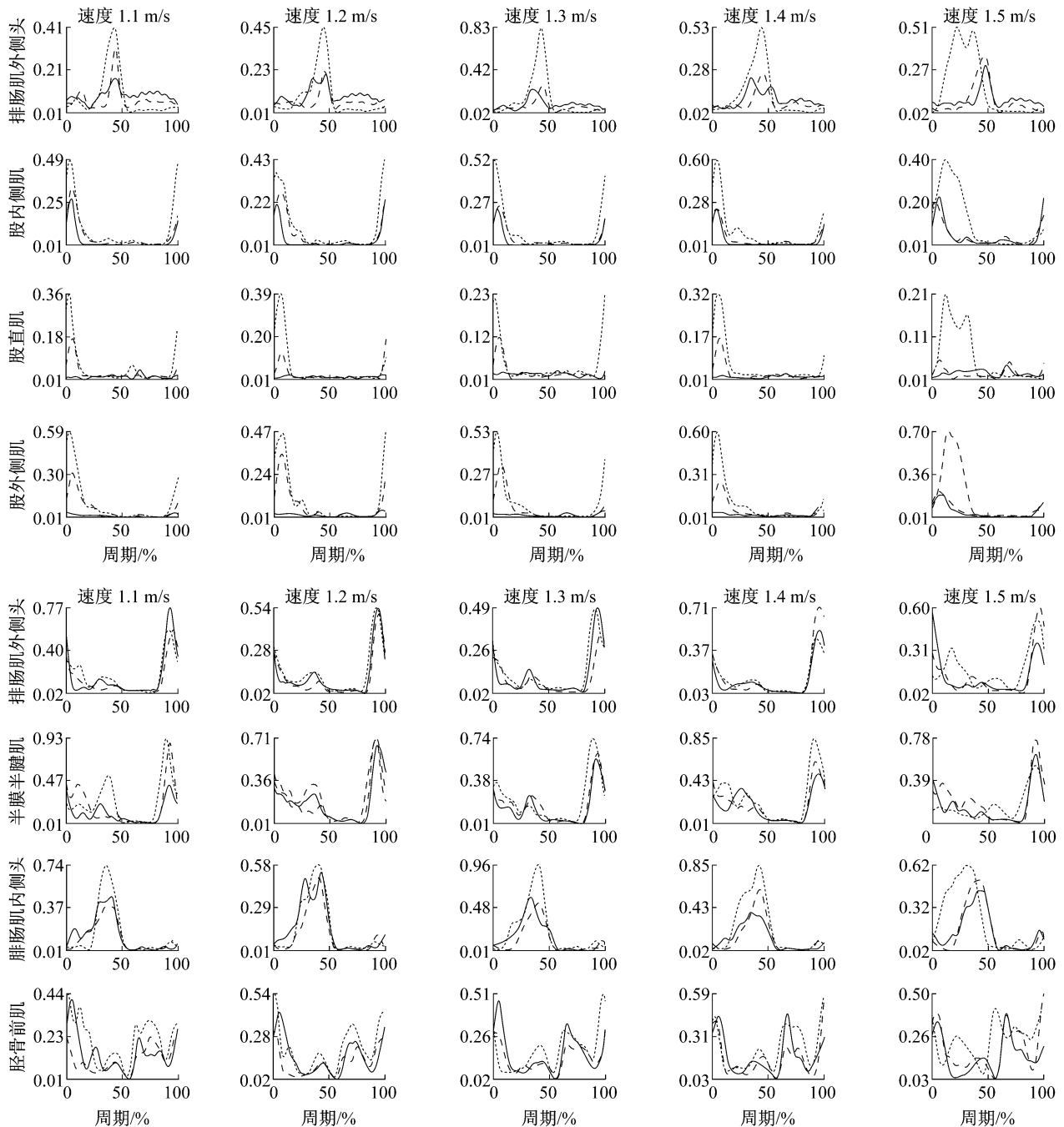


图 4 不同速度和不同路面坡度下 8 块肌肉激活度变化曲线
 Fig. 4 Curve of 8 muscle activation values at different speeds and different slopes

基本一致。其中在一个运动周期内,腓肠肌外侧头、股内侧肌、股直肌、股外侧肌、和腓肠肌内侧头肌肉激活次数为1次,半膜半腱肌和股二头肌肌肉激活次数为2次,胫骨前肌频繁处于激活状态。股内侧肌、股直肌和股外侧肌三块肌肉在运动周期的0%~25%过程中处于激活状态,且都是先增加到最大值,然后单调减小。腓肠肌外侧头和腓肠肌内侧头在运动周期的25%~50%过程中处于激活状态,腓肠肌外侧头在临近运动周期50%时达到最大值,腓肠肌内侧头在运动周期25%~50%中间位置达到最大值。股二头肌在运动周期内肌肉激活次数为2次,可分为20%~50%和75%~100%两个阶段,其中75%~100%阶段的激活强度比较大。半膜半腱肌在运动周期的20%~50%和75%~100%阶段处于激活状态,且先增加到最大值,然后单调递减,变化趋势与股二头肌基本一致,在0%~75%阶段肌肉激活值整体呈减小趋势,而在75%~100%阶段的激活强度比较大。胫骨前肌的肌肉激活度变化曲线比较独特,但是也很有规律,运动周期0~25%的过程是一个递减的过程,25%~50%有个小起伏,50%~85%有个大起伏,85%~100%的过程是一个递增的过程。5种不同的运动速度下,路面坡度分别为0°和16°时,8块主要肌肉中腓肠肌外侧头、股内侧肌、股二头肌、半膜半腱肌、腓肠肌内侧头和胫骨前肌的激活值范围基本一致。而路面坡度0°下,股直肌和股外侧肌的激活值相对较小。当路面坡度为26°时,部分肌肉的激活值范围有明显变化,其中腓肠肌外侧头和股内侧肌两块肌肉的激活值范围为该肌肉在路面坡度为0°和16°下激活值范围的2倍,即最大值增加了1倍;股直肌和股外侧肌两块肌肉的激活值范围为该肌肉在路面坡度为16°下激活值范围的2倍。坡度不同的情况下,股二头肌、半膜半腱肌、腓肠肌内侧头和胫骨前肌的肌肉激活值基本一致。

3 结语

本文通过对15例研究对象不同步行速度和路面坡度下运动信号及肌电信号的测量及计算分析,获得了她们在不同步行速度和路面坡度下髌、膝及踝关节矢状面的关节角度变化的均值。然后从测量

数据中寻找出一个最接近这个均值曲线的研究对象,从而对其进入更深入的分析。

分析表明,髌、膝及踝关节在一个步态周期内矢状面上关节角度的变化范围并不是随人体步行速度的增大而单调增加;但是在运动周期前50%内,各关节的关节角的峰值受路面坡度的影响较大。8块肌肉的最大激活度并不是都随步行速度的增加而增大,但是某些肌肉激活度的峰值受路面坡度的影响较大。肌肉的激活度在5种不同速度和3种不同路面坡度下每个步态周期内的变化趋势基本一致。

参考文献:

- [1] Kirtley C, Whittle M, Jefferson R. Influence of walking speed on gait parameters[J]. J Biomed Eng, 1985, 7(4): 282-288.
- [2] Giles-Corti B, Donovan R. Relative influences of individual, social environmental, and physical environmental correlates of walking[J]. Am J Publ Health, 2003, 93(9):1583.
- [3] Kadaba M, Ramakrishnan H, Wootten M. Measurement of lower extremity kinematics during level walking[J]. J Orthop Res, 1990, 8(3):383-392.
- [4] England S, Granata K. The influence of gait speed on local dynamic stability of walking[J]. Gait & Posture, 2007, 25(2):172-178.
- [5] 胡雪艳, 恽晓平, 郭忠武, 等. 正常成人步态特征研究[J]. 中国康复理论与实践, 2006, 12(10):855-857.
- [6] 王洪生, 白雪岭, 张希安, 等. 人行行走过程中上肢运动仿真及生物力学特征分析[J]. 上海交通大学学报, 2009, 43(8): 1302-1306.
- [7] 唐刚, 魏高峰, 聂文忠, 等. 人体下肢关节坐标系的一种简单定义方法[J]. 北京生物医学工程, 2009, 28(6):606-609.
- [8] Schmidt R, Disselhorst-Klug C, Silny J, et al. A marker-based measurement procedure for unconstrained wrist and elbow motions[J]. J Biomech, 1999, 32(6):615-621.
- [9] 唐刚, 周海, 张希安, 等. 慢跑的速度对青年女性下肢关节及肌肉的影响[J]. 医用生物力学, 2010, 25(5):357-362. Tang G, Zhou H, Zhang XA, et al. Influence of jogging speed on lower limb joints and muscles of young women[J]. J Med Biomech, 2010, 25(5):357-362.
- [10] Bohannon R. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: Reference values and determinants[J]. Age Ageing, 1997, 26(1):15.

(下转第192页)